时间序列分析：历史回顾与未来展望

■程振源

一、历史回顾

在工商业和经济学中，时间序列分析通常用于研究某过程的动态结构；分析变量间的动态关系；对诸如 GDP 和失业率等经济数据进行季节调整；当扰动项出现自相关时改善回归分析等。

为了便于叙述，时间序列用 y_t 表示，记 ψ_{t-1} 为可用于时刻 t 预测的时刻 t−1 的信息集。则时间序列的一模模型为：

$$y_t=f(\psi_{t-1})+u_t \quad (1)$$

其中，u_t 为均值为零、方差为 σ_u^2 的随机变量序列。很明显，u_t 是 y_t 在时刻 t 的一步滞后预测误差，是在时刻 t 对时间序列的一次修正。时间序列分析的历史就是函数 $f(\psi_{t-1})$ 和误差修正项 u_t 的发展史。

如果 y_t 的第一阶和第二阶矩与时间无关，即 $E(y_t)$ 为一常数 μ，同时自协方差函数 $\gamma=cov(y_t,y_{t-l})$ 是一个仅与步长 l 有关的函数，则称该时间序列是平稳的。一个平稳时间序列的自相关函数为 $\rho_l=\gamma_l/\gamma_0$。对于一个线性的时间序列来说，了解 ρ_l 的行为性质是时间序列分析的关键。

(一)自回归综合移动平均模型(即 ARIMA 模型)的出现

1970 年由 Box 和 Jenkins 合著的《时间序列分析：预测和控制》一书的出版是时间序列分析史上一个非常重要的里程碑。该书使 ARIMA 模型迅速得到普及，为预测工作者提供了科学系统的分析方法。在一般模型(1)中，ARIMA 模型假定：

$$f(\psi_{t-1})=c+\sum_{i=1}^{p}\phi_i\omega_{t-i}-\sum_{j=1}^{q}\theta_j u_{t-j} \quad (2)$$

$$\omega_t=(1-B)^d y_t$$

其中 p,d,q 分别是非负的整数；c 是常数；B 是滞后算子，如 $By_t=y_{t-1}$，ω_t 是 y_t 的第 d 次差分。利用多项式，我们可以将 ARIMA 模型表示成更为简捷的形式:

$$\phi(B)(1-B)^d y_t=c+\theta(B)u_t$$

其中，$\phi(B)=1-\sum_{i=1}^{p}\phi_iB^i$，$\theta(B)=1-\sum_{i=1}^{q}\theta_iB^i$ 是 B 的两个多项式。

值得注意的是，以上两个多项式没有公因子，并且它们的根假定均位于单位圆外。此外，在实际应用中还要进一步假设 u_t 服从高斯分布。在上述假定条件下，若 d=0，则时间序列 y_t 是平稳的；若 $d\neq0$，则称时间序列 y_t 包含单位根或称 y_t 是单位根非平稳的。

ARIMA 模型一旦建立并通过检验后，在最小平方误差准则条件下，未来某个时期的预测值是该模型的条件期望值。ARIMA 模型的出现大大地推动了时间序列分析的研究。但是，时间序列分析的历史并没有人们想像的那么简单。在历史上，时间序列分析曾经存在着两种相互对立的分析方法，即频率域法和时间域法。这两种方法的支持者们针锋相对，曾经进行过激烈的争论。时间域方法利用历史数据的自相关函数 ρ_l 和参数模型(诸如 ARIMA 模型)来描述时间序列的动态依存性。而频率域方法则将注意力放在频率的谱分析或势分布上，以此来研究时间序列的理论和应用。Cooley 和 Tukey(1965)通过有效的谱估计在频率域分析方面取得过重大进展。随着时间的推移，这两种方法的严格界线已经不存在了。现在，究竟利用哪一种方法，唯一的决定因素是分析的目的以及分析者的经验。

(二)技术的进展

计算机硬件和软件的飞速发展对时间序列分析产生了深刻的影响。传统的分析技术(即线性高斯时间序列模型)由此取得了很多重大进展。很多模型的选择准则被提出。在 ARIMA 模型的识别方面也有所突破。正合极大似然方法已经成为估计的标准方法。上述技术的发展不是彼此孤立进行的，它们的影响也不仅限于线性高斯时间序列模型。

从二十世纪八十年代开始，有两种重要技术引起了人们的关注。

一种是时间序列中马尔可夫链蒙特卡罗模拟方法(MCMC)的应用。这一方法在时间序列中的应用前景相当广阔。

另一种是状态空间参数化和卡尔曼过滤的应用。

将卡尔曼过滤引入时间序列分析的最初目的主要是为了有效地评价正合高斯极大似然函数和处理缺失的观测值。模型的正合极大似然函数可以表示成一串连续条件分布的连乘积，即 $p(y_1,y_2,\cdots,y_n)=\prod_{i=1}^{n}P(y_i|\psi_{i-1})$。该技术已不仅应用于估计方面，它在其它领域也得到了广泛的应用，例如信息处理。

(三)方法论的进展

在过去的几十年中，时间序列分析在方法论上的进展主要表现在以下几个方面。

1.非线性性和非正态性。非线性和非高斯模型的理论和方法取得了许多进展。例如，阈自回归模型(TAR)。该模型利用了一个分段线性模型来构建(1)中的 $f(\psi_{t-1})$，使 $f(\psi_{t-1})$ 建立在一个阈空间上。

例如，$f(\psi_{t-1})=\begin{cases}\phi_1y_{t-1}, & y_{t-1}\geq r\\ \phi_2y_{t-1}, & y_{t-1}<r\end{cases}$

该模型称为一阶 TAR 模型。其中，$\phi_1\neq\phi_2$，y_{t-1} 称为阈变量，r 称为阈。该分段线性模型可以生成具有非线性特征的模型。同时，很多检验时间序列非线性的方法也随之出现。研究表明，非线性模型能改善预测的效果。

在计量经济学文献中，也可以看到一些重要的非线性模型。这些模型的贡献主要表现在对(1)中 u_t 方差的改进方面。令 $h_t=E(u_t^2|\psi_{t-1})$ 是给定 ψ_{t-1} 下 u_t 的条件方差。在计量经济学和金融学中，h_t 被用于测度 u_t 的波动性。Engle 的自回归条件异方差模型(ARCH)假定：h_t 是 ψ_{t-1} 正的确定性函数。对于最简单的 ARCH(1)模型，$h_t=\alpha_0+\alpha_1u_{t-1}^2$。其中，$\alpha_0>0,0\leq\alpha_1<1$。ARCH 模型的一个重要特征是在某些条件下，修正项 u_t 是重拖尾的，因此服从高斯分布。它在期权定价中有着重要应用。该模型已经引起了越来越多学者的关注。由此而出现了广义的 ARCH 模型

(GARCH)和随机波动模型。ARCH 模型族的一个共同特征是利用一个正的确定性方程来改进 h_t。与之不同的是，随机波动模型则允许 h_t 有它自己的修正项序列。例如，GARCH(1,1)模型假定：

$$h_t=\alpha_0+\alpha_1 u^2_{t-1}+\beta_1 h_{t-1}$$

其中 $\alpha_0>0,\alpha_1\geqslant 0,\beta_1\geqslant 0,\alpha_1+\beta_1>1$。而一个简单随机波动模型则可能假定：

$$\ln(h_t)=\alpha_0+\ln(h_{t-1})+v_t$$

其中，v_t 是一个白噪声序列。这个附加的修正项 v_t 使得该模型更具灵活性和应用性。

2.多元过程。很早以前，人们就意识到，将若干个相关的时间序列同时进行考察是有必要的，也是有价值的。但是，多元分析经常被局定于向量自回归模型(VAR)。其原因主要有两方面：

一个原因是多元模型很难理解和估计。

另一个原因是，一元 ARMA 模型在向量 ARMA 模型扩展的过程中遇到了一个很棘手的问题。即识别问题。

值得庆幸的是，识别难题现在已经基本上被攻克了，通过利用库罗勒克指标 (Kronecker Indices) 或纯量分量模型(SCM)可以有效地解决识别问题。

(四)理论的进展

时间序列分析在理论上的进展主要表现在两个方面：一是非线性模型理论，一是单位根理论。

非线性模型理论的进展集中在几何遍历性问题和非线性过程的平稳性这两方面。对于简单模型 TAR (1)，Chen 和 Tsay (1991)，Petruccelli 和 Woolford (1984) 得出了一些有趣的结论。在非线性过程的稳定性研究中作出杰出贡献的有 Meyn 和 Tweedie (1993) 以及 Tong (1990) 等人。

近年来，在时间序列分析理论中发展最为迅速的当属单位根理论。这一理论主要研究随机漫步过程统计量的非对称性质。单位根问题已经引起了越来越多计量经济学家和统计学家的关注。它不但为决定 ARIMA 模型差分的阶提供了正式的检验方法，也为某些统计量的检验开辟了新的领域。Tsay 和 Tiao (1990) 将单位根检验扩展到多元情形，这就是所谓的协整检验。

二、未来展望

时间序列分析未来研究的一个重要原动力源自于金融市场、信息网络以及电子商务等领域超容量数据的获得。在全球化竞争日益激烈的环境中，这些数据的可利用价格越来越大。然而，这些数据非常庞大，而且离散型和连续型的多元变量相混杂，传统和现有的数据处理方法远远不能对其进行有效的加工处理。对这些数据进行综合分析的迫切性肯定会影响未来时间序列分析的研究方向。

在笔者看来，未来时间序列的研究将会朝以下几个方向发展：

1.出于研究不同变量间动态关系的需要以及计算机硬件的发展，多元模型在向量 ARMA 模型中或在状态空间模型中的应用会日益增加。识别不同差分序列的共同特征将是这一课题的重要组成部分。

2.非线性和非高斯模型的理论和应用将会继续繁荣，这方面的研究有可能朝非参数方法和计算密集方法的利用方面发展。

3.在某些应用领域，例如通讯和高频金融数据分析领域，重拖尾建筑和极端值分析将成为必要。

4.除了研究通常的时间序列数据以外，研究不同观测值的时间期间将成为一种发展趋势。换句话说，事件发生的时间在时间序列分析和预测中将发挥越来越重要的作用。

5.高效加工处理大规模数据的方法将有待于发展。

此外，在技术发展方面，将仍然是贝叶斯分析和非贝叶斯分析并存。数据的挖掘和利用也将日益引起研究者的重视。

(作者单位/厦门大学计划统计系)

(责任编辑/刘智伟)

(上接 37 页)文环境。

3.以人为本，促进经理人市场的培育和发展。企业内部控制要强调以人为本的思想，强调沟通和感情的交流，消除管理者之间的隔膜，这才更有利于企业形成强有力的群体，调动每一个人的积极性。从西方经济的发展历程来看，需要建立一个完善成熟的经理人市场，促进经理人的合理流动。经理层是内部控制制度的执行者与执行情况的反馈者，他们对内部控制制度作用的发挥是不言而喻的。同时，还应注意运用激励与监督机制，保持经理人的稳定性与公司政策的稳定性，保证内部控制制度的顺利实施。

4.充分发挥审计监督的作用。因管理信息的约 80%来源于会计资料，管理信息的可靠性取决于会计资料的真实程度。因此，在进行重大决策的机构如董事会内可设置一个审计委员会，审计委员会监督会计报表，审计委员会对董事会负责，成功地运用审计委员会协助董事会履行职责，协助董事会与公司外部及内部审计人员直接沟通。在财会职能部门设置的审计部门，其工作向总经理负责。审计委员会与财会部门内部的审计部门不存在直接领导与被领导的关系。审计委员会的建立有利于公司保持良好的内部控制，内部审计促成好的控制环境的建立，同时也为改进内部控制制度提供建设性意见。

(二)建立一个有效的会计系统

1.建立一个有效的会计系统，实施会计控制是内部控制制度的关键。在企业以会计准则为指导，自行设计会计制度日渐成为新的国家对会计的管理体制情况下，会计系统的建立也就是企业会计制度的设计。进行会计制度设计时不仅考虑会计机构及岗位的设置、各种会计要素的核算、会计报表的编制等问题，还要考虑到企业其他各个部门和经营管理活动的影响。因此，会计制度的设计不仅包括规定会计账户、账簿、会计报表的编制等问题，还包括发生在企业各部门间各类经营管理活动中会计处理程序的具体规定，把内部控制抽象性、要素性的方法和程序融化为企业会计制度中具体可操作的方法和程序。

2.强化外部监督，督促企业不断完善内部会计控制。会计监督来自内部与外部两个方面，内部监督是关键，外部监督是关口。关键抓不住就会出问题，关口把不住也会出问题。所以，不论是内部监督还是外部监督，决不能形同虚设，流于形式。财税、审计、银行、社会监督机构等部门一定要把好监督关口，形成有效的监督合力；应加强对企业内部控制的了解、检查和监督，加大执法力度；注册会计师行业主管部门要加强对注册会计师职业的监督，使注册会计师的社会监督职责到位。

(作者单位/广东财经职业学院)

(责任编辑/易永生)